

# Aprovechamiento de los vertidos de la industria de la roca ornamental

ORDÓÑEZ DELGADO, SALVADOR

RODRÍGUEZ GARCÍA, MIGUEL A.

Laboratorio de Petrología Aplicada Universidad de Alicante

GARCÍA DEL CURA, M<sup>a</sup> ANGELES

Inst. Geología Económica C.S.I.C

## ABSTRACT

*The industry of elaboration of dimension stone generates an important volumen of wastes. In this way in Alicante province with an elaboration capacity up to 60.000 Mpts/year, and with a production of finishing and polish more than 0,7 Mt, the wastage estimation is up to 0,4 Mt ( broken material, and muds); the quarry wastes estimation for the same finishing material may be estimated as twice or three times this of the elaboration wastes.*

*The main types of wastes are: a) Quarry wastes ( regular or irregular blocks not useful for elaboration as a consequence of low mechanical or aesthetically properties, weathering overburden, fragments, cuttings); b) Elaboration wastes (bases, sides, faces, broken material, cut and polish muds). Chemical composition and mechanical properties of wastes ( with the exception of muds ) are closely with this of dimension stone.*

*In this paper we present an quarry recovery coefficient (a) and an elaboration coefficient (b), which let us to estimate the wastage to useful material ratio. The large volume of wastes from extraction and elaboration of dimension stones may be diminished with an adequate investigation and planning of quarries and wastes disposal, but in all case defining the recovery of wastes for their use as building materials, and even if possible other uses as high quality fullers. Only an adequate planning and investigation of economic (marginal) recovery may minimised the environmental impact of the dimension stone industry.*

## RESUMEN

La industria de elaboración de rocas ornamentales genera un importante volumen de vertidos. Así p.e. en la Provincia de Alicante con un potencial de elaboración de más de 60.000 Mpts/año, y con una producción de 0,7 Mt de productos elaborados, se generan 0,4 Mt de vertidos (casquillo y lodo); las cantidades de escombros generados en las canteras para rocas ornamentales pueden representar volúmenes bastante superiores a los indicados.

La tipología de los vertidos es: a) Escombros de cantera (material rechazado y recubrimiento); b) Vertidos de elaboración (costrones y terminaciones de telar, fragmentos y recortes de tablas, lodos de aserrado y pulido). La composición química y las propiedades mecánicas son asimilables a las del material útil.

En este trabajo se definen los coeficientes de aprovechamiento en cantera (a) y en planta de elaboración lo que permite estimar la producción de vertidos por unidad de producto útil.

Para cada tipo de vertido puede señalarse un uso que puede ir desde usos constructivos, hasta el uso de los lodos como cargas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria de la roca ornamental de la provincia de Alicante tiene un potencial de producción de 60.000 Mptas, las exportaciones de esta industria superaron los 25.000 Mptas, lo que representa mas del 52% del total de exportación del mármol nacional. Esta exportación se dirige fundamentalmente a EE.UU., Europa, Lejano Oriente.. Las inversiones en remodelización y actualización del parque productivo superaron en los últimos años los 15.000 Mptas.

Los núcleos mas importantes de producción se encuentran en Novelda, Monforte, Pinoso, Monóvar y La Romana. Los materiales de mayor demanda son: Crema Marfil, Rojo Alicante, Marrón Imperial, Piedra Bateig... En esta zona se elaboran materiales partiendo de unos 350.000 m3 de bloques, equivalentes a 1 Mt de material, de los que se aprovechan 0,7 Mt de material útil, y el volumen de casquillo y lodos generados supera las 0,4 Mt. El casquillo en su práctica totalidad se dedica a zahorras, cemento, terrazo... Las plantas de tratamiento de las aguas de aserrado, en las cuales se han invertido mas de 500 Mptas, han supuesto la posibilidad de obtener un lodo del orden de un 20% de humedad, y recuperar y reciclar el 80% del agua de proceso. Dicho lodo se deposita en vertederos, quizá el desarrollo tecnológico de técnicas de secado y remolienda, pudiera permitir un aprovechamiento de estos materiales.

El objetivo de la ponencia es pasar revista a los vertidos de la industria, no sólo en elaboración, sino también en la extracción de la materia prima, y pasar revista a soluciones que se han dado a los problemas ambientales. Recientemente García del Cura y otros (1994), García del Cura y otros (1997), han propuesto algunas soluciones para la restauración de explotaciones y han desarrollado el concepto de "aprovechamiento integral" de material extraído, aspecto este que se inscribe en una gestión integral del sector, en el que la roca ornamental, no es sino el material de mas alto precio, y que los residuos de su extracción y elaboración pueden ser usados como materias primas de otras industrias.

Por último en el Anexo I, se han incluido las etapas en el aprovechamiento del recurso en rocas ornamentales con objeto de fijar el alcance de esta ponencia.

## 2. TIPOLOGÍA DE VERTIDOS

Aún con la dificultad inherente a toda clasificación, los vertidos de la industria de la roca ornamental pueden ser clasificados como:

Escombros de cantera:

- Bloques regulares de calidad estética y/o mecánica inadecuada,
- Bloques irregulares ( $D > 0,5$  m) pero de formas o volúmenes inadecuados para el aserrado (terminaciones).

- Bloques de pequeño volumen ( $D < 0,5m$ )
- Estériles del recubrimiento y encajante ("ratio" de la explotación).

Vertidos de transformación:

- Terminaciones, costrones o conchas de telar y discos.
- Fragmentos de tablas rotas o con defectos y recortes (casquillo).
- Lodos de aserrado.
- Lodos de pulido y terminado.

La composición química y las propiedades mecánicas de los materiales de los vertidos son semejantes a las de la roca ornamental, salvo en el caso de los "Estériles de recubrimiento" en los que pueden existir procesos de meteorización que cambien la naturaleza de los materiales. Los "lodos de aserrado" pueden incorporar la "granalla", y los lodos de pulido: abrasivos, "mastics"... Conviene resaltar que los lodos generan una problemática específica, ya que por su propia forma de generarse van como suspensiones en agua, y por lo tanto estas suspensiones de lodo deben de ser tratadas mediante filtrado (filtro prensa, filtros de succión,...) para recuperar el agua lo que produce una "pasta" con un contenido en humedad de alrededor del 20-25 %, que permite un transporte y almacenamiento.

### 3. ESTRUCTURA DE GENERACIÓN DE VERTIDOS

#### *a) Escombros de cantera*

Los Escombros de cantera pueden representar mas de un 80% del peso del material extraído, para valores de  $a$  (coeficiente de aprovechamiento en cantera)  $< 0,20$ , al considerar el área ocupada es necesario considerar un incremento en volumen, definido por el factor de esponjamiento,  $e$ , que puede variar desde 1,1 en adelante, en función de la granulometría, forma de vertido, compactación y humedad del vertido....

El coeficiente de aprovechamiento,  $a$ , varía a lo largo de la vida de la explotación, pudiendo ser del orden de 0,1 en las etapas de investigación y apertura de frentes, y aumentando con la evolución de la explotación, sin embargo cuando el "ratio" de la explotación aumenta, dentro de los límites de economicidad de la explotación, de nuevo el coeficiente de aprovechamiento disminuye. Por lo tanto el coeficiente de rechazo tiene, para un mismo proyecto de cantera, una evolución completa, sin embargo, una buena investigación puede permitir un desarrollo de la explotación con valores de  $a$  máximos, lo que combinado con un buen diseño que tenga en cuenta el impacto visual de los frentes, y el diseño del vertedero y / o plan de "aprovechamiento integral del recurso ", e incluso la "reutilización" de la zona explotada, puede representar una optimización de la explotación, tanto en la vertiente económica como ambiental .

Un buen diseño de la corta permite reducir sensiblemente el volumen de los bloques irregulares de gran tamaño, que se forman a partir de los bloques de explotación, cuando no se tiene en cuenta la red de discontinuidades del macizo rocoso. El conocimiento de la distribución de calidades en la cantera es otro factor a considerar en la optimización del diseño de la explotación, y puede redundar en una reducción apreciable de los bloques rechazables por su calidad estética.

El aspecto de una optimización de diseños de explotaciones es particularmente interesante en el caso de explotaciones subterráneas, con valores de  $\alpha$ , próximos a 1, y con posibilidades de aprovechamiento industrial de la caverna generada, Biolatti y Bostico (1995).

El volumen de "escombros de cantera", generado por cada m de bloque útil para pasar a elaboración, se puede expresar como:

$$VEC = \varepsilon_x \left( \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right)$$

, siendo  $\varepsilon_x$ , el coeficiente de esponjamiento, y  $\alpha$ , el coeficiente de aprovechamiento.

La distribución en peso de tamaños se puede predecir usando la ley de Rosin - Rammler, que es lineal para valores de la curva acumulada sobre gruesos, dados por la ecuación:

$$-\ln \left[ \frac{(100 - P)}{100} \right]$$

, donde P es peso acumulado para cada tamaño considerado.

#### ***b) Vertidos de transformación.***

El coeficiente de aprovechamiento en el proceso de transformación, b, varía con los siguientes factores:

- 1) Espesor y dimensiones del material terminado, ya que el espesor de disco de corte varía entre 5-8 mm, Martínez (1997), y por lo tanto cuanto menor es el espesor y el tamaño del material transformado, menor es el coeficiente de aprovechamiento. En el pulido se pierden 2 mm.
- 2) La base residual, concha, es del orden de 10 - 20 cm, el aumento del tamaño de bloque hace que el coeficiente de aprovechamiento mejore relativamente por esta causa.

- 3) Las caras y costados del bloque representan 5 a 8 cm. para eliminar las huellas de los barrenos, se puede hacer análogas consideraciones que en 1).
- 4) Otro factor, que influye en la disminución de  $\beta$ , son los fallos mecánicos y estéticos del material.
- 5) Por último, los errores en la elaboración pueden afectar también a la caída de los valores de  $\beta$ .

En esencia el coeficiente  $\beta$  disminuye con:

- El incremento del tamaño de bloque.
- El incremento en el espesor y tamaño del material terminado, si bien es de desear que exista en los despieces una gran flexibilidad de tamaños para conseguir en menor rechazo en forma de esquinas.
- Aumento de la calidad mecánica y homogeneidad estética del material.
- Optimización de las operaciones de elaboración.

Como ejemplo el valor de  $b$ , para elaboración de plaquetas de 30x30 cm, y 1cm de espesor, a partir de bloques de 1,7 x 1,7 x 2,2 m (6,4 m<sup>3</sup>) es 0,35. Las pérdidas de 0,65 se reparten en 0,46 para base o concha, caras y costados, y material roto, este último aprovechable parcialmente para elaborar material de menor dimensión; 0,19 se incorporaría como lodos de corte. Por supuesto en el caso de que el material fuera pulido existirían otras pérdidas. Datos de Martínez (1997). Los "números mágicos" de valores de  $b$  de 0,74 para tablas de 2 cm de espesor, y 0,81 para tablas de 3 cm de espesor, son considerados óptimos por muchos fabricantes, com. pers. de J.Camarasa, BERMARMOL S.A., y M. Herrero, BATEIG LABORAL S.A.

El volumen de vertidos por m<sup>3</sup> de material útil final sería:

$$V_L = \frac{(1 - \beta)}{\beta}$$

, si suponemos el volumen de vertidos expresado en volúmenes de densidad equivalente a la del bloque.

Este  $V_L$  se reparte entre materiales tipo casquillo  $V_C$ , y lodos,  $V_M$ , de tal modo que el volumen de vertidos de elaboración se podría escribir:

$$V_F = V_C + V_L = V_C + \mu V_C$$

y para cada uno de estos materiales se podría definir un factor de esponjamiento, de tal modo que se podría obtener como expresión final el volumen de casquillo por m<sup>3</sup> de material útil:

$$V_C = \varepsilon_C \frac{I}{(I + \mu)} \frac{(I - \beta)}{\beta}$$

De modo análogo se podría obtener el volumen de lodos:

$$V_L = \varepsilon_L \frac{I}{(I + \mu)} \frac{(I - \beta)}{\beta} \mu$$

De lo anteriormente expuesto se sigue que es posible establecer, de modo bastante objetivo, la estructura de la generación de vertidos por cada volumen de material final utilizable.

#### 4. ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS VERTIDOS.

La idea básica sería reducir vertidos por una optimización de los parámetros de aprovechamiento expuestos anteriormente, es decir: a) investigación del recurso; b) diseño óptimo de cantera, y en su caso explotación subterránea; c) uso de tecnología adecuada y formación de personal; d) optimización del diseño de aprovechamiento del material., es decir conseguir unos valores altos de  $\alpha$  y  $\beta$ , y en su caso, y para los colas no aprovechables, diseño de vertederos adecuados, tanto en cuanto a impactos, como a volúmenes, minimizando los valores de  $\varepsilon$ .

El principio básico de aprovechamiento económico de subproductos, es que dado que se trata de materiales de bajo precio unitario, en los que el coste de transporte puede ser decisivo, se debe de realizar previamente una selección del material por calidades en el mismo centro de producción del vertido (cantera o planta).

Esquemáticamente se pueden señalar, para cada tipo de vertido, los posibles usos económicos de los mismos:

##### **Bloques regulares de calidad estética y/o mecánica inadecuada:**

- Sillería con terminaciones "no pulidas" o "flameadas".
- Mamposterías diversas.
- Pavimentación (bordillos, adoquines...)

- Muros de contención, escolleras vistas...
- Revestimientos (tablero) no pulidos.

#### **Bloques irregulares para el aserrado:**

- Aprovechamiento para tablas de dimensiones pequeñas.
- Escultura y trabajos especiales (Escuelas taller)

#### **Bloques irregulares de calidad estética inadecuada:**

- Mampostería - sillería rústica.
- Escolleras.
- Pavimentos rústicos.
- Presas de escollera antierosión.

#### **Bloques de <0,2 m<sup>3</sup>:**

- Piedra artificial, Ciccu y Manca (1994).
  - a) Bloques de mármol artificial con fragmentos de material natural y adhesivo, con cargas obtenidas de lodos.
  - b) Baldosines.

#### **Bloques de <0,2 m<sup>3</sup> y calidad estética inadecuada.:**

- Áridos de machaqueo. Usos en función de características.
- Zahorras.
- Préstamos.

#### **Casquillo:**

- Material para molienda (clinker).
- Pavimentación decorativa.
- Piedra artificial
- Marquetería de piedra.
- Cales.

#### **Lodos de corte:**

- Cargas de alta calidad (papel, adhesivos, pinturas, cauchos, plásticos, detergentes, piedra artificial).
- Cargas de baja calidad (fertilizantes).
- Bases impermeabilizantes activas (pH alcalino)

- Cerámica.
- Materia prima para clinker de cemento Portland (húmedo).
- Cales
- Vidrio.
- Siderúrgica.
- Proceso Solvay.
- Desulfuración de humos en centrales térmicas.
- Corrección de suelos ácidos.
- Corrección de aguas ácidas.

## 5. CONCLUSIONES

a) El volumen de "escombros" generados por m<sup>3</sup> de material útil final se podría estimar mediante la ecuación:

$$V_{EC} = \frac{\varepsilon_C}{\beta} \frac{(1 - \alpha)}{\alpha}$$

lo que implica que, dado que los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  son menores que la unidad, una alta capacidad generadora de escombros de la extracción de rocas ornamentales.

La expresión final del volumen de casquillo por m<sup>3</sup> de material útil sería:

$$V_C = \varepsilon_C \frac{1}{(1 + \mu)} \frac{(1 - \beta)}{\beta}$$

De modo análogo se podría obtener el volumen de lodos por m<sup>3</sup> de material útil final:

$$V_L = \varepsilon_L \frac{1}{(1 + \mu)} \frac{(1 - \beta)}{\beta} \mu$$

b) La primera premisa sería minimizar la producción de vertidos, aumentando los coeficientes de recuperación. Ello exige una serie de actuaciones por parte de las Administraciones Públicas:

- 1) definición de los litotectos potencialmente utilizables;
- 2) establecimiento de áreas protegidas o de otros usos (urbanizables, industriales...)



Lo que permitiría definir zonas susceptibles de investigar. Una vez definidas estas zonas potenciales sería necesario realizar una investigación por parte de la empresa que solicite el aprovechamiento que defina:

- 3) las características estructurales y físicas de las rocas de la zona investigada;
- 4) el diseño de explotación;
- 5) la definición del método de aprovechamiento integral del material extraído;

y/o

- 6) el diseño de vertederos;
- 7) la realización de un proyecto de restauración / rehabilitación / reutilización de espacio ocupado por explotación y vertedero.

Con los datos anteriormente reseñados se podría llevar a cabo una planificación que permitiría otorgar permisos de explotación en las mejores condiciones para la gestión de los recursos. Ello implicaría la existencia de una "ventanilla única" de control y gestión administrativa de la actividad extractiva, que permitiría una simplificación administrativa siempre beneficiosa.

A nivel de industria elaboradora debería de contemplarse de manera análoga el sistema de recogida y tratamiento de vertidos, vertederos, emisiones acuosas,...

c) Los productos extraídos no utilizables como roca ornamental pueden ser susceptibles de ser usados para otros usos alternativos, como se ha visto anteriormente, sin embargo no debe olvidarse que, en el origen del vertido, estos productos deben ser seleccionados para evitar costes en la clasificación y transporte que harían inviable económicamente la utilización de estos subproductos. En todo caso, una política por parte de las Administraciones Públicas de crear demandas de estos subproductos para edificios singulares, parques, jardines, obras lineales (subbase) puentes, muros de contención, que podría resolver parcialmente el problema. Por otra parte debería intensificarse la creación de empresas de gestión de estos vertidos y de los vertederos de inertes controlados, que sería en todo caso necesario crear.

d) Se debería potenciar investigaciones encaminadas a la utilización de estos vertidos en forma masiva, y en este sentido pensamos que algunos de los vertidos, o mas correctamente expresado, subproductos, pueden ser objeto de una utilización subeconómica, pero que desde el punto de vista del coste ambiental de los vertederos y explotaciones abandonadas tendrían un valor añadido que haría que pudieran considerarse como un recurso económico. La sinergia con ciertas demandas potenciales de algunos vertidos en impermeabilización de bases de vertederos de residuos urbanos, lodos de depuradora, así como tratamientos de aguas contaminadas, puede ser una buena línea de actuaciones futuras.

e) Por último, sería de desear que, por parte de las Administraciones Públicas, se iniciase una línea política de equilibrio entre desarrollo industrial - conservación ambiental, a través de instrumentos legales bien definidos, y no susceptibles de interpretaciones puntuales variables u oportunistas, que pueden dañar una actividad creadora de riqueza y de bienestar, y que no necesariamente debe de ser ambientalmente impactante, sobre todo si se arbitran soluciones "ab initium".

## 6. BIBLIOGRAFÍA

BALLESTRAZZI, P. , BERRY, P. y MOLINI, L. (1994) Parametri che influenzano la produzione: recupero di material carbonatici ed inerti da discariche di pedra di taglio. Atti III Congresso Italo Brasiliano di Ingeneria Mineraria, Verona 26 - 27 Settembre, 350 - 354.

BOSTICCO, F. M. y BIOLATTI, G. (1995) The environmental advantages and operating results of underground quarrying of an ornamental stone. I Congresso International da Pedra Natural, 15 - 17 junho. Lisboa. 105 - 112.

CICCU, R. y MANCA, P.P. (1994) Recupero degli scarti dell'attività di estrazione e lavorazione dei lapidei. Atti III Congresso Italo Brasiliano di Ingeneria Mineraria, Verona 26 - 27 Settembre, 355 - 359.

GARCÍA DEL CURA, M.A., ORDÓÑEZ, S., DAPENA, E. y GONZÁLEZ MARTÍN, J.A. (1994) Las canteras de calizas de los interfluvios de los rios Jarama - Tajuña - Tajo de la Comunidad de Madrid: Valoración de recursos. Boletín Geológico y Minero, 105-106, 574-590.

GARCÍA DEL CURA, M.A., ORDÓÑEZ, S., GONZÁLEZ MARTÍN, J.A., DIAZ ÁLVAREZ, M.C. y DAPENA, E. (1997). Proposal for environmental impacts decreasing in a suburban zone of limestone quarries: Southern Madrid Community (Spain). Int. Symposium Engineering Geology and the Environment. Atenas. III, 2359-2364,

LASKARIDIS, K. (1994) Greek white calcitic marbles. Examination and appraisal for industry. Industrial Minerarl, April, 53-57.

LASKARIDIS, K. (1995) Post-quarring exploitation of wastes from greek white marble quarries for use as fine fillers. I Congresso International da Pedra Natural, 15 - 17 junho. Lisboa. 115 - 119.

MARTÍNEZ, M. (1997) Pulido y brillo del mármol en la industria. Litos, 28, 51- 57  
AGRADECIMIENTOS: A la Asociación Provincial Mármol de Alicante, que agrupa 76 empresas del Sector, por los datos económicos suministrados, y que aparecen en la Introducción de esta ponencia.

# ANEXO I

## ETAPAS EN LOS PROYECTOS MINEROS DE ROCAS ORNAMENTALES

### EXPLORACION

- Geología regional.
- de áreas potenciales. Exclusión de zonas protegidas por la legislación.
- Permisos de investigación. (están libres ?)
- Red de diaclasado / discontinuidades. (bloques?)
- Muestreo superficial.
- Técnicas básicas previas: Petrografía, Mecánicas ("point load", martillo de rebote, ultrasonidos.).
- Estimación potencialidad económica. (posibilidades ?)

### INVESTIGACIÓN

- Ubicación de sondeos.
- Testificación de sondeos.
- Cartografía y secciones de la futura explotación 1/5000.
- Datos petrofísicos de las muestras.
- Cubicación.
- Diseño de la corta: DIRECCION DE AVANCE MAXIMO APROVECHAMIENTO y MINIMO IMPACTO VISUAL.
- Ubicación de vertederos
- Posibles subproductos de interés económico directo.
- Pruebas de producción (planta piloto).
- Adecuación del material a la maquinaria disponible.
- Tipos de elaborados previsibles.
- Evaluación de las posibilidades ornamentales del material.
- Analisis económico de la futura explotación / velocidad de extracción del recurso.
- Diseño de los equipos de extracción.
- Previsión de los costes "Ambientales".
- Nomenclatura comercial, científica y propiedades de catálogo, usos.

## EXPLOTACIÓN

- Seguimiento de la explotación: seguridad, calidad del material, nuevas calidades,...
- Aprovechamiento, subproductos en relación con la técnica de extracción,...
- Rendimiento maquinaria de extracción: formación personal, adaptaciones específicas, sustitución de equipos,...
- Optimización del transporte dentro de cantera.
- Seguimiento del Plan de Restauración.
- Calidad de los bloques en cantera.
  - Plano de labores.
  - Memoria de calidades y rendimientos.
  - Productividad.
  - Análisis de costes de extracción.

## ELABORACIÓN

- Rendimiento del material.
- Reforzamiento con mallas.
- Tratamientos convencionales: SELLADO HUECOS,...
- Tratamientos de consolidación / hidrofugación..
- Selección calidades.
- Terminado (corte, apomazado, abujardado, pulido...)
- Selección color, homogeneidad y tonos...
- Usos .
- Control de calidad final del producto.
  - Sistema de tratamiento de lodos y recuperación de agua.
  - Almacenaje de casquillo.